INDICE

Página

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN 1
2 DEFINICIONES 1
2.1 Caudal másico (gasto o flujo másico) de gases m 1
2.2 Condiciones de línea o actuales, de normalización y ambientales. 2
2.3 Caudal volumétrico Q. 2
2.4 Caudalímetro. 3
2.5 Rotámetro. 3
2.6 Transmisor de Caudal. 4
2.7 Controlador de caudal. 4
2.8 Elemento de flujo laminar. 4
2.9 Fuga/orificio calibrado 4
2.10 Contadores volumétricos 5
2.11 Caudalímetro oscilador. 5
3 DESCRIPCIÓN 5

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

El objeto del presente documento es establecer requisitos relativos a la información que debe aparecer en un certificado de calibración de un medidor de caudal de gas emitido por un laboratorio de calibración acreditado por ENAC.

Se ha elaborado con el objeto de garantizar que el mercado recibe una información homogénea y técnicamente adecuada sobre la calibración de este tipo de equipos.

Al tratarse de contenido básico, los laboratorios podrán ampliar la información que presentan en los certificados siempre y cuando se mantenga la claridad en la presentación de los resultados y no dé lugar a error o confusión.

Este documento ha sido elaborado en el seno del Subcomité Técnico de Calibración de Presión de ENAC

2 DEFINICIONES

2.1 Caudal másico (gasto o flujo másico) de gases $\dot{m}$.

Es la cantidad instantánea de masa gaseosa que fluye por una sección recta de un conducto. Se mide en unidades de masa por la unidad de tiempo, en el SI se expresa en kg/s.

Entidad Nacional de Acreditación 2023

Matemáticamente se determina con la ecuación:

$$\dot{m} = \rho(p,t) \cdot V \cdot A \quad (1)$$

Siendo V la velocidad normal a la sección recta al conducto de área A a la que se desplaza el fluido gaseoso, con densidad $\rho(p,t)$, y p y t la presión absoluta y temperatura del gas en la línea de caudal. Esta expresión se aplica en el empleo de calibradores primarios como pueden ser *bell provers* y calibradores de pistón, en los que se miden todas las componentes que figuran en dicha ecuación.

Si se utilizan caudalímetros másicos que miden directamente Q, entonces la ecuación se reduce a:

$$\dot{m} = Q \cdot \rho(p_{\mathrm{N}}, t_{\mathrm{N}}) \quad (2)$$

Siendo Q el caudal normalizado a las condiciones de presión absoluta p_{N} y temperatura t_{N}, $\rho(p_{\mathrm{N}}, t_{\mathrm{N}})$ es la ecuación de estado del gas de trabajo, que proporciona su densidad a p_{N} y t_{N}.

2.2 Condiciones de línea o actuales, de normalización y ambientales.

Las condiciones de línea, o actuales, son los valores de presión absoluta p_{A} y temperatura t_{A} que se miden en el conducto donde se instala el objeto de calibración.

Las condiciones de normalización son los valores de presión absoluta p_{N} y temperatura t_{N} necesarios para referir el caudal volumétrico. Son datos de diseño del caudalímetro objeto de calibración que generalmente figuran en su placa de características. Las condiciones de presión y temperatura de referencia más habituales son:

Presión de normalización	Temperatura de normalización
1 atm = 1013,25 mbar = 101 325 Pa	0 °C 15 °C 20 °C 21,11 °C (70 °F) 25 °C

Las condiciones ambientales son los valores de presión y temperatura ambientales durante la calibración.

2.3 Caudal volumétrico Q.

Es el volumen instantáneo de fluido gaseoso que circula por una sección de un conducto. Matemáticamente es la relación entre el caudal másico y la densidad del fluido. Se mide en unidades de volumen por la unidad de tiempo, en el SI (Sistema Internacional de Unidades) en m^3/s.

Si la densidad del fluido se define a las condiciones de línea medidas durante la calibración, entonces Q se trata de un caudal a condiciones actuales que se determina con la expresión:

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho\,(p_{\mathrm{A}}, t_{\mathrm{A}})} \tag{3}$$

Es el caso de la calibración de un caudalímetro de oscilador, elemento de flujo laminar, etc., donde Q es el caudal real que circula por la línea. Habitualmente se expresa en unidades de volumen actual por la unidad de tiempo, por ejemplo, Alitros/minuto.

Si la densidad del fluido se calcula a condiciones de normalización, entonces se trata de un Q normalizado:

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho\,(p_{\mathrm{N}}, t_{\mathrm{N}})} \tag{4}$$

Es típico en calibración de caudalímetros másicos, como los de transferencia térmica. A menudo se expresa en unidades de volumen normal por la unidad de tiempo, por ejemplo: Nlitros/minuto o Slitros/minuto. Generalmente se entiende que N se aplica en condiciones normales (1 atm y 0 °C) y que S se emplea para condiciones estandarizadas (1 atm y 20 °C), pero no hay una regla fija. **La utilización de estos prefijos (A, N y S –Actual, Normal y Estándar-) que se aplican en las unidades de volumen es inapropiada y queda al margen del SI.**

Si la densidad del fluido se calcula a condiciones ambientales medidas durante la calibración, entonces Q está expresado a condiciones ambientales, que se calcula con la expresión:

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho\,(p_{\mathrm{ambiente}}, t_{\mathrm{ambiente}})} \tag{5}$$

Es caso habitual de la calibración del caudalímetro de captadores de partículas.

2.4 Caudalímetro.

Instrumento de medida de caudal compuesto por un elemento primario, o sensor de caudal, y otro secundario, encargado de la transmisión, amplificación de la señal del primario, su conversión e indicación que presenta el valor del caudal medido directamente, en unidades de caudal, en un display analógico o digital.

Un caudalímetro puede estar constituido por un solo elemento o por varios elementos que en conjunto lo conforman.

En algunas aplicaciones los caudalímetros van asociados a otro tipo de instrumentos de medida, como puedan ser respirómetros, captadores de partículas, sistemas de dilución de gas, etc.

2.5 Rotámetro.

Es un tipo específico de caudalímetro en que la indicación del caudal se produce mediante un flotador que se desplaza verticalmente, en función del caudal, en el interior de un tubo en forma de tronco de cono. La indicación se produce sobre una escala graduada grabada en el propio tubo de caudal.

Es un caudalímetro no másico, pero que los resultados se expresan igual que para estos. La principal diferencia, durante su calibración, es que la ecuación de normalización de Q responde a.

$$Q = Q_R \sqrt{\frac{p_R/t_R}{p_N/t_N}} \tag{6}$$

2.6 Transmisor de Caudal.

Es un instrumento de medida del caudal, másico o volumétrico, de forma indirecta mediante un *output* eléctrico (analógico o digital), cuyo valor S está relacionado matemáticamente con el de caudal a través de una curva de conversión $q = q(S)$, que aconseja el fabricante del objeto de calibración en cuestión, habitualmente se trata de una relación lineal entre q y S:

Normalmente constan de un transductor de caudal y un módulo para acondicionar y amplificar la señal de salida eléctrica del transductor. El equipo utilizado para la medida de la señal eléctrica y la fuente de alimentación puede acompañar o no al transmisor.

Según el modelo, la señal de salida de un transmisor de caudal puede ser: un voltaje, una corriente, una frecuencia o un formato digital.

Para el funcionamiento, los transmisores de caudal necesitan un suministro eléctrico continuo que no necesita estar estabilizado.

2.7 Controlador de caudal.

Es la combinación de un caudalímetro (habitualmente un transmisor de caudal) y una válvula proporcional para ajustar el valor del caudal medido a uno previamente deseado. Pueden estar comandados por un valor prefijado en caudal o por una señal eléctrica proporcional al valor de caudal deseado, que funciona igual que la curva de conversión $q = q(S)$ de los transmisores de caudal.

2.8 Elemento de flujo laminar.

Dispositivo de medida de Q, a condiciones actuales, basado en la caída de presión Δp que se produce a los dos lados de una reducción del conducto por donde circula el flujo.

2.9 Fuga/orificio calibrado

Fuga calibrada se considera al instrumento neumático pasivo que mediante la aplicación de una diferencia de presión conocida entre sus dos extremos permite el paso de un caudal teórico proporcional a dicha presión, al igual que el resto de instrumentos de flujo laminar. Su aplicación principal es la generación de un caudal de referencia conociendo la presión de entrada, además estos dispositivos normalmente son empleados venteando directamente a la atmósfera, de ahí su nombre. Su realización mecánica puede ser diversa, y aunque se pueden adquirir comercialmente elementos diseñados a tal efecto, se puede implementar con una

válvula convenientemente ajustada y bloqueada o incluso con un tramo de conducto restrictor como puede ser un tubo capilar.

2.10 Contadores volumétricos.

Contador volumétrico es un instrumento utilizado para cuantificar el volumen de fluido que circula por el mismo. Los contadores volumétricos de gas se pueden dividir en dos tipos según su principio de medida:

- Contadores que contabilizan directamente el Volumen que circula a través de ellos, como los contadores de membrana (también denominados de paredes deformables) o los contadores de pistones rotativos de desplazamiento positivo.
- Contadores que integran Volumen a partir del Caudal. El Caudal a su vez es obtenido mediante un parámetro función de éste. Por ejemplo, los contadores de turbina, los contadores ultrasónicos, medidores Vórtex, …

2.11 Caudalímetro oscilador.

Caudalímetro que genera una señal analógica en pulsos cuya frecuencia es proporcional al caudal instantáneo que circula por su interior. Pueden ser no mecánicos (como los caudalímetros Vortex –sin piezas móviles-), o mecánicos (como los de desplazamiento positivo y turbinas –caracterizados por tener piezas móviles-).

La calibración más completa de un caudalímetro de este tipo consiste en obtener la curva Q *-f* y también la curva de viscosidad universal (UVC) k_f-*Ro,* siendo:

- Q el caudal de referencia en condiciones actuales de presión y temperatura.
- *f* es la frecuencia de los pulsos generados al caudal Q.
- El *factor* k_f se calcula como:

$$k_f = \frac{f}{Q} \tag{7}$$

- Y el factor de Roshko como:

$$Ro = \frac{f}{\nu(P,t)} \tag{8}$$

- *v(P,t)* es la viscosidad cinemática del gas que circula por el caudalímetro calculado a las condiciones de línea *P* y *t*.

3 DESCRIPCIÓN

Los certificados de calibración afectados por este documento deberán en cualquier caso cumplir lo establecido en la norma UNE-EN ISO/IEC 17025 en sus apartados correspondientes a los informes y certificados de calibración y, además, teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

Identificación inequívoca del instrumento calibrado, incluyendo la identificación de todos los elementos significativos. Ejemplos:

- Si se trata de un caudalímetro con sensor de caudal externo se deberá identificar el indicador y el sensor de caudal, como en el caso de diluidoras que se identifican sus caudalímetros internos (en caso de que su identificación sea visible) y el número de serie de la propia diluidora de la que forman parte.
- Para un transmisor acompañado con una fuente de alimentación y un equipo para medida de señal de salida se deberá identificar el transmisor y el medidor.
- En el caso de un elemento de flujo laminar acompañado con instrumentos de medida para la medida de la diferencia de presión, la presión absoluta y la temperatura se deberán identificar todos los componentes.
- Cuando el cliente lo solicite, también figurará su código interno.

Condiciones ambientales. Deberán especificarse debido a su influencia en el valor final de la incertidumbre expandida, por la posibilidad de realizar correcciones para otras condiciones distintas a las certificadas, y para posibilitar la reproducibilidad de la calibración en idénticas condiciones a las certificadas.

Identificación del método o procedimiento de calibración empleado conforme a la NT-86. Ejemplos:

> *El procedimiento de calibración empleado ha sido la norma UNE EN/ISO-IEC …*
> *El procedimiento de calibración empleado ha sido el CAUDAL/PRC/001 basado en la norma UNE EN/ISO-IEC …*
> *El procedimiento de calibración empleado ha sido el CAUDAL/PRC/001 …*

Resultados de las medidas. Podrán utilizarse diferentes modelos para la presentación de las diferentes columnas en las tablas de resultados, dependiendo del tipo de objeto de calibración: caudalímetro de medida directa del caudal, rotámetros, transmisores.

Tipo de presentación de las medidas de caudal. Tanto Q como la indicación del objeto de calibración q, se expresarán de igual forma: conforme lo solicite el cliente, y si no ha mencionado nada al respecto entonces según figure en la placa de características del instrumento calibrado. Se hará mención expresa en el certificado de calibración de este hecho, por ejemplo:

> *Las medidas de caudal se expresan a condiciones actuales en la línea de flujo.*
> *Las medidas de caudal Q se expresan a* 1013,25 mbar *y* 0 °C*.*
> *Las medidas de caudal Q se expresan a* 1013,25 mbar *y* 21,1 °C*.*
> *Las medidas de caudal Q se expresan a condiciones ambientales durante la calibración.*

En la tabla de resultados puede figurar el valor de la corrección ($Q - q$) o error ($q - Q$).

Información sobre las condiciones de presión y temperatura de línea y sus incertidumbres. También se hará referencia al punto de medida de la presión de línea, como ejemplos:

> *La presión de línea ha sido medida, aproximadamente, a* 10 cm *de la sección de entrada del objeto de calibración.*
> *La presión de línea ha sido medida, aproximadamente, a* 10 cm *de la sección de salida del objeto de calibración.*
> *La presión de línea se corresponde con la atmosférica durante la calibración.*

Información sobre el método empleado en la generación del flujo (succión o impulsión). Puesto que el valor de la presión de línea daría idea clara del método empleado no sería necesaria esta mención, salvo cuando *la presión de línea se corresponda con la atmosférica durante la calibración*, supuesto que exige declararlo expresamente. Ejemplos:

> *La presión de línea ha sido medida, aproximadamente, a* 10 cm *de la sección de entrada del objeto de calibración (y el flujo se ha generado en impulsión).*
> *La presión de línea se corresponde con la atmosférica durante la calibración y el flujo se ha generado en impulsión.*
> *La presión de línea se corresponde con la atmosférica durante la calibración y el flujo se ha generado en succión.*

Deberá hacerse clara referencia a los posibles ajustes que se hayan realizado al instrumento, dando los valores, en este caso, antes y después del ajuste.

Ha de indicarse que los datos dados en las tablas de resultados son valores medios.

Debe mencionarse el fluido de trabajo utilizado.

En aquellos caudalímetros cuya indicación dependa de la posición u otros factores, deberán especificarse la posición del caudalímetro y las acciones tomadas con respecto a otros factores de influencia.

Se emplearán unidades de medida del SI. En caso de utilizarse otras unidades, ha de indicarse la relación o equivalencia entre esa unidad y el SI. Para las unidades de caudal se emplearán relaciones del tipo UV/Ut (unidades de volumen/unidades de tiempo).

La incertidumbre expandida de la corrección o del error *U* podrá estar dada en la misma tabla de resultados para cada punto de calibración, o como un valor único, en este caso se dará el valor máximo. Podrá darse como valor absoluto o relativo (según apartado 3.3 del presente documento). Cabe la posibilidad de que se muestre para una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

Tabla de resultados en la calibración de caudalímetros de medida directa.

- El caudal de referencia Q, expresado a las mismas condiciones que el objeto de calibración: condiciones actuales, normalizadas o a condiciones ambientales.
- La indicación del instrumento q.
- La incertidumbre expandida de la corrección o del error U.
- Presión de línea o presión ambiente p, según se trate.
- Temperatura de línea o ambiental t, según se trate.
- Incertidumbres de condiciones de línea.
- Puntos de medida de condiciones de línea.

Q (unidad de caudal)	q (unidad de caudal)	U (unidad de caudal)	p (unidad de presión)	t (°C)

Tabla de resultados en la calibración de transmisores de caudal.

- El caudal de referencia Q, expresado a las mismas condiciones que el objeto de calibración: condiciones actuales, normalizadas o a condiciones ambientales.
- El valor de la señal eléctrica S generada por el objeto de calibración cuando por él circula el caudal Q.
- La indicación del instrumento q calculada con la curva $q = q(S)$.
- La incertidumbre expandida de la corrección o del error U.
- Presión de línea o presión ambiente p, según se trate.
- Temperatura de línea o ambiental t, según se trate.
- Incertidumbres de condiciones de línea.
- Puntos de medida de condiciones de línea.
- La ecuación de conversión $q = q(S)$

Q (unidad de caudal)	S (unidades eléctricas)	q (unidad de caudal)	U (unidad de caudal)	p (unidad de presión)	t (°C)

Si la curva $q = q(S)$ no existe o no hay una relación clara entre q y S, entonces:

- El caudal de referencia Q, expresado a las mismas condiciones que el objeto de calibración: condiciones actuales, normalizadas o a condiciones ambientales.
- Incertidumbre expandida de Q, $U(Q)$.
- El valor de la señal eléctrica S generada por el objeto de calibración cuando por él circula el caudal Q.
- Incertidumbre expandida de S, $U(S)$, calculada de forma completa.
- La indicación del instrumento q calculada con la curva $q = q(S)$.
- Presión de línea o presión ambiente p, según se trate.
- Temperatura de línea o ambiental t, según se trate.
- Incertidumbres de condiciones de línea.
- Puntos de medida de condiciones de línea.
- La ecuación de conversión $q = q(S)$

Q (unidad de caudal)	$U(Q)$ (unidades de caudal)	S (unidades eléctricas)	$U(S)$ (unidades eléctricas)	p (unidad de presión)	t (°C)

Tabla de resultados para la calibración de elementos de flujo laminar

- El caudal de referencia Q, generalmente expresado las condiciones de línea o actuales.
- La presión diferencial Δp.
- La presión de línea p.
- Temperatura de línea t.
- La incertidumbre expandida de la corrección o del error U.
- Incertidumbres de condiciones de línea.
- Puntos de medida de condiciones de línea.
- La ecuación de conversión $q = q(\Delta p, p, t)$

Q (unidad de caudal)	Δp (unidad de presión)	p (unidad de presión)	t (°C)	q (unidad de caudal)	U (unidad de caudal)

Tabla de resultados para la calibración de orificios calibrados.

- El caudal de referencia Q, generalmente expresado las condiciones de línea o actuales.
- La presión relativa de línea p, medida aguas arriba del objeto de calibración.
- Temperatura de línea t.
- La incertidumbre expandida de *Q*, $U(Q)$.
- Incertidumbres de condiciones de línea.
- Puntos de medida de condiciones de línea.

Q (unidad de caudal)	p (unidad de presión)	t (°C)	$U(Q)$ (unidad de caudal)

Tabla de resultados para la calibración de contadores volumétricos:
Se pueden presentar los resultados en caudal o en volumen:

Opción 1. Resultados en caudal:

- El caudal de referencia Q, generalmente expresado a condiciones actuales.
- El volumen o el tiempo muestreado *Vol* o *T*.
- El caudal del instrumento q, expresado en las mismas condiciones que el de referencia.
- El error relativo (en caudal o en volumen) del instrumento e.
- La incertidumbre expandida de la corrección o del error U.
- Puntos de medida de condiciones de línea
- La ecuación de conversión de volumen a caudal (si aplica).

Q(unidad de caudal)	*Vol* (unidades de volumen) o *T* (s)	*q* (unidades de caudal)	e (%)	U (%)

Opción 2. Resultados en volumen:

- El volumen de referencia *Vol*, generalmente expresado a condiciones actuales.
- El caudal aplicado Q.
- La indicación del instrumento *v*.
- El error relativo (en volumen) del instrumento e.
- La incertidumbre expandida de la corrección o del error U.
- Puntos de medida de condiciones de línea
- La ecuación de conversión de caudal a volumen (si aplica).

Vol (unidad de volumen)	Q (unidades de caudal)	*v* (unidad de volumen)	e (%)	*U* (%)

Tabla de resultados para la calibración de caudalímetros osciladores:
Los resultados son:

Q (unidad de caudal)	f (Hz)	p (unidad de presión)	t (°C)	K_f (pulsos/ unidad de volumen)	*Ro* (Hz/unidades de viscosidad cinemática)	$U(k_f)$ (pulsos/ unidad de volumen)

Notas:

[1] *En el caso de que el patrón eléctrico sea parte integrante del transmisor o transductor no es necesario considerar como componente en el cálculo de incertidumbre la incertidumbre de uso del mismo.*

La edición en vigor de este documento está disponible en www.enac.es. Las organizaciones acreditadas deben asegurarse de que disponen de la edición actualizada.

Puede enviar a ENAC sus puntos de vista y comentarios en relación con este documento, así como sus propuestas de cambio o de mejora para futuras ediciones, en la siguiente dirección (calidad@enac.es) indicando en el asunto el código del documento.